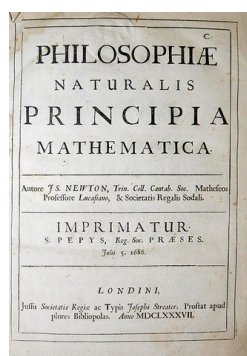


# 11<sup>th</sup> Physics 3

## 2017-18

## The Laws of Motion

## 運動の法則



Newton's "Principia"  
(1687)

- |   |                             |
|---|-----------------------------|
| 1. The Law of Inertia<br>(Newton's 1 <sup>st</sup> Law of Motion)         | 慣性の法則<br>(ニュートンの運動第1法則)     |
| 2. The Law of Motion<br>(Newton's 2 <sup>nd</sup> Law of Motion)          | 運動の法則<br>(ニュートンの運動第2法則)     |
| 3. The Law of Action-Reaction<br>(Newton's 3 <sup>rd</sup> Law of Motion) | 作用・反作用の法則<br>(ニュートンの運動第3法則) |
| 4. Motion of an Object in Equilibrium                                     | 力がつりあっているときの物体の運動           |
| 5. Free Fall and the Law of Motion  | 自由落下運動と運動の法則                |
| 6. Projectile Motion and the Law of Motion                                | 放物運動と運動の法則                  |
| 7. Friction   | 摩擦                          |
| Frictional Forces   | 摩擦力                         |
| Static Friction   | 静止摩擦                        |
| The Maximum Limit of Static Friction                                      | 最大静止摩擦力                     |
| Coefficient of Static Friction  | 静止摩擦係数                      |
| Angle of Friction   | 摩擦角                         |
| 8. Kinetic Friction   | 動摩擦                         |
| Force of Kinetic Friction   | 動摩擦力                        |
| Smooth Surface  | なめらかな面 (摩擦係数が0の面)           |
| Rough Surface   | 荒い面 (摩擦がある面)                |
| 9. Terminal Speed   | 終端速度                        |
| 10. Applications of Newton's Law  | ニュートンの法則の応用                 |
| Atwood Machine  | アトウツドの器械                    |

We are all subject to Newton's laws of motion, whether we know it or not. You can't move your body, drive a car, or toss a ball in a way that violates his rules.

Yet Newton's laws are surprisingly simple, especially when you consider that they apply equally well to galaxies, planets, comets, and yes, even apples falling from trees.

Today, we still recognize Newton's laws as the indispensable foundation for all of physics. It would be nice to say that these laws are the complete story when it comes to analyzing motion, but that is not the case. In the early part of the last century, physicists discovered that Newton's laws must be modified for objects moving at speeds near that of light and for objects comparable in size to atoms. In the world of everyday experience, however, Newton's laws still reign supreme. (James S. Walker, "Physics", 2010 Pearson Education Inc.)

**Newton's First Law of Motion:**

**An object at rest remains at rest as long as no net force acts on it.**

**An object moving with constant velocity continues to move with the same speed in the same direction as long as no net force acts on it.**

ニュートンの第一法則（慣性の法則）：

物体に力がはたらかないか、あるいは物体にはたらく力がつり合っているとき、物体の速度は変化しない。

（静止している物体は静止を続け、運動をしている物体は等速直線運動を続ける。）

**1. The Law of Inertia 慣性の法則**  
**Newton's First Law ニュートンの第1法則**

**A. Before Galileo**

[Q1] Primitive basic questions: 素朴で基本的な疑問

1. Is a force always required to move an object continuously, as a horse is required to move wagon continuously?

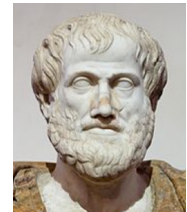
荷車を引き続けるには馬が必要なように物体を動かし続けるには常に力が必要だろうか。

2. Similarly, when you push a toy car, it moves in a straight line but gradually slows down and come to rest. Does this mean that a force is required to move a toy car continuously?

同様に、君がおもちゃの車を押すと、車はまっすぐ動くが次第に遅くなり止まってしまう。物体を動かし続けるには力が必要ということだろうか。

3. Aristotle, a Greek philosopher and scientist, believed that objects only moved as long as they were pushed or pulled. Thus, objects on the Earth stopped moving once applied forces were removed, and the heavenly spheres only moved because of the action of the Prime Mover, who continuously applied the force to the outer spheres that turned the entire heavens. However, any force seems not to act on a flying arrow. How do you think he explained about this phenomenon?

古代ギリシャの哲学者であり科学者のアリストテレスは、物体は押したり引いたりしているときだけ動くことができると考えた。地上の物体は力を除けば止まり、天体が動くのは原動者たる神が 全天を回転させる天球に絶えず力を及ぼしているからである、とした。では、飛んでいる矢には力が働いていないように見える。かれはこれをどう説明したか。

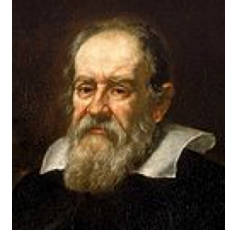


Aristotle(384BC-322BC)  
アリストテレス



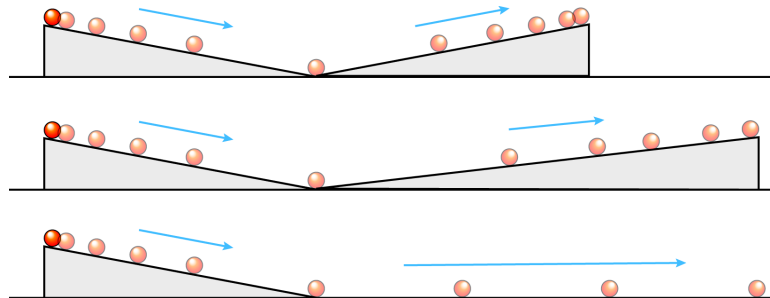
B. Galileo's Observations and "Inertia" ガリレオの観察と「慣性」の法則

[Q2] Galileo Galilei observed a marble ball rolling on slopes, shown below, and found that the marble rolled down the plane and the opposite plane approximately the same height. If he sanded the planes to be smoother, he noted that the marble rolled up the opposite plane ever closer to its original height. Then he repeated similar experiments while the second hill is less and less steep and horizontal finally. What do you think he concluded?



Galileo Galilei (1564-1642)

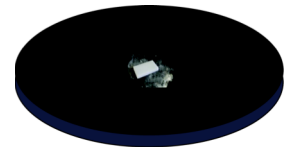
ガリレオは、図に示すようなころがる球を観察し、一番目の傾斜面を離れた高さと同じ高さの傾斜面の到達した高さがほぼ等しいことを見つけた。傾斜面を磨くと二つの高さは近くなる。次いで、二番目の坂の傾斜が緩くして最後に水平にした。彼はどのような結論を得たと思うか。



a) Flying arrow



b) Air track



c) Dry ice on a table



d) Curling



e) Shakes the wet body

[Q3] From the above observations, Galileo concluded the followings:

上の実験から、ガリレオは次のように結論した

1. If the opposite plane is oriented horizontal, and eliminating the force of friction, the marble will never reach its original height. It will roll forever. 2番目の面を水平にして摩擦を除けば球は元の高さに達することではなく、従って永久に転がり続けるだろう。
2. The marble rolling horizontally moves with the same speed in the same direction. 水平に転がる球は同じ方向に同じ速さで運動する。
3. Thus, a body naturally tends to continue in whatever state of motion or rest it is at any instant and tends to resist any changes. **The extent to which a body resists changes in its state of rest or motion is characteristic of the body and is called its inertia:** the literal meaning of the word **inertia** is "laziness."

つまり、物体はその運動状態あるいは静止状態を続ける傾向を持ち、どのような変化にも抵抗する傾向を持つのが自然の姿なのだ。物体が運動や静止状態の変化に抵抗を示す傾向はその物体の固有の性質であって「**慣性**」と呼ぶものである。慣性とは「怠惰」「惰性」「不精」と同義である。

[Q4] Explain the figures using the Galileo's law of inertia 右の図をガリレオによる慣性の法則で説明せよ。

**C. Newton's First Law of Motion (The Law of Inertia)** ニュートンの運動第1法則 (慣性の法則)

[Q5] **Newton's first law of motion**, first enunciated by Galileo, summarizes the above observations in the following statements:

-----  
 An object at rest remains at rest as long as no net force acts on it.

An object moving with constant velocity continues to move with the same speed and the same direction as long as no net force acts on it.

-----  
 和訳せよ。



Isaac Newton (1642-1727)

[Q6] In the statements, a phrase, “no net force” is recurred. It is important to realize that this can mean one of two things. What are the two things?

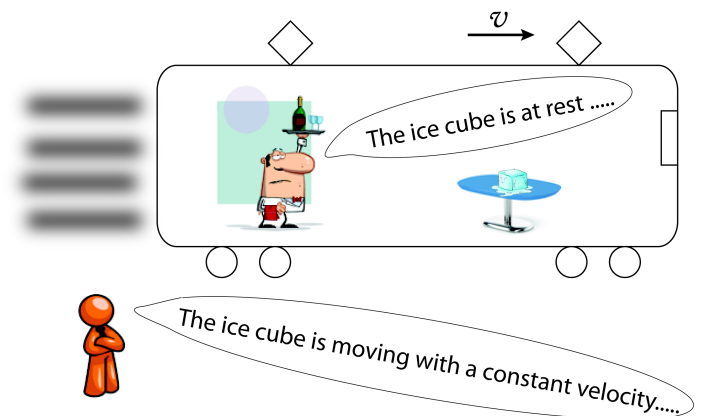
上の文章には「合力が0」という言葉が繰り返されている。この言葉には2種類の意味があるがそれはなにか。

[Q7] Newton's first law is also known as the **law of inertia**. Explain the word, “inertia.”

ニュートンの第1法則は「慣性の法則」とも言われる。「慣性」を説明せよ。

[Q8] According to Newton's first law, being at rest and moving with constant velocity are actually equivalent. Explain this using the figure at the right, where a person in the train moving with constant velocity places an ice cube on a dinner table.

ニュートンの第1法則から、静止していることと等速運動していることは実質的に同じだといえる。このことを右の図で説明せよ。図は、等速で動いている列車の中の人がテーブル上に氷のかけらを置いたところである。



[Q9] Explain the above question using the words, “frame of reference” and “inertial frame.”

上の問題を「基準座標系」と「慣性座標系」を使って説明せよ。

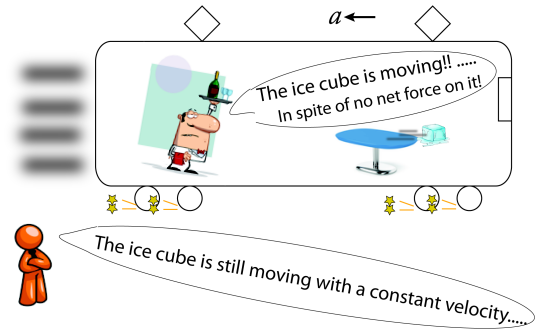
[Q10] Explain about “Galilean relativity.” 「ガリレオの相対論」を説明せよ。

[Q11] **Newton's first law of motion** can be restated in a more compact statement as follows:

-----  
 If the net force on an object is zero, its velocity is constant.  
 -----

[Q12] As an example of a frame that is not inertial, consider the train that suddenly comes to a halt in the figure. Explain.

慣性座標系でない座標系の例として、図のように急ブレーキをかけた電車を考え、説明せよ。



[Q13] A 10 kg box is lifted vertically from rest. Find the magnitude of the minimum force,  $F$ , required to lift the box. Explain.

質量 10 kg の箱を鉛直に持ち上げる。箱を持ち上げるに必要な最小限の力、 $F$  はいくらか。理由を説明せよ。

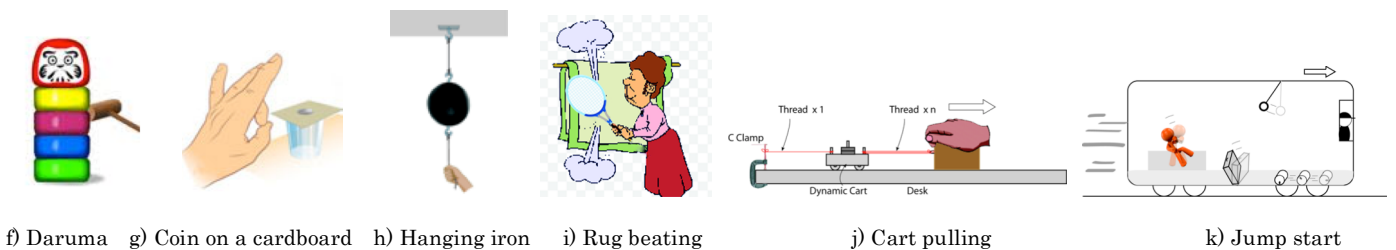


[Q14] In the figure, Newton is watching an apple falling and wondering why it falls. How do you think he reached such a question, the idea nobody took into one's mind? 図は、ニュートンがリンゴの落ちるのを見て、なぜ落ちるのだろうかと思っている。彼は、どうしてそのような、誰も考えないような疑問にたどり着いたのだろうか。

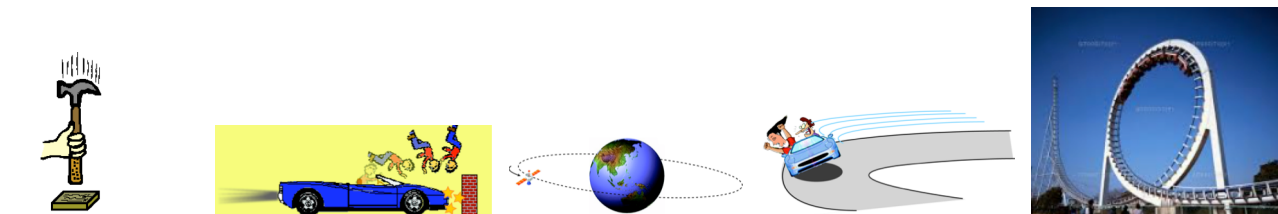


[Q15] The following figures can also be explained using the concept of inertia. Discuss.

次の図も「慣性」の概念で説明できる。議論せよ。



f) Daruma g) Coin on a cardboard h) Hanging iron i) Rug beating j) Cart pulling k) Jump start

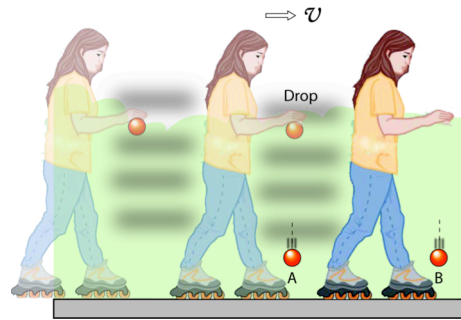


l) Fixing a loose head m) Head-on collision n) Satellite o) Sharp curve p) Roller coaster

D. Motion in an inertial frame 慣性座標系の運動

[Q21] When you skate with a constant velocity, 5.0 m/s, you release a ball softly. Where does the ball drop? (A) Behind you. (B) Just under your hand. E

君がスケートでの等速で動いているときにボールを静かに離れた。ボールはどこに落ちるか。(A) 君の後方、(B) 君の手の真下。



[Q22] Scientists criticized Galileo against his heliocentrism. Some critics said that if the earth was moving a ball should not fall down vertically but show some deflection, as shown in the figure-a. Galileo offered a counterargument with a figure like Fig. b. Explain.

ガリレオの地動説は科学者に批判された。ある批判者が、「もし大地が動いているなら球はまっすぐに落ちずはずれが起こるはずだ」(図 a)と言った。ガリレオはこれに反論するのに図 b のような図を示した。説明せよ。

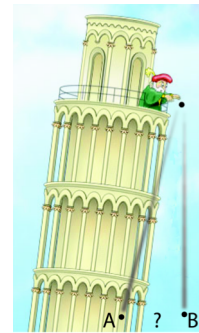


Fig. a

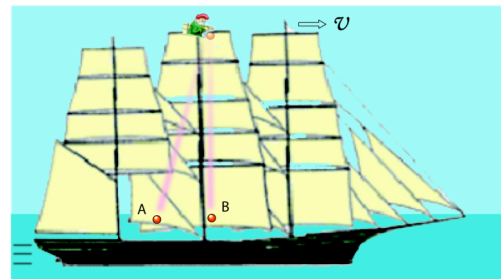


Fig. b

[Q23] Inside a Shinkansen train moving at a constant speed of 300 km/hr or 83.3 m/s, a boy jumps and a girl drops a ball.

What happens? 新幹線の中で子供がジャンプしもう一人はボールを落とす。どうなるだろうか。



[Q24] The figures below show demonstrations in class. Explain. 図は Physics Room での実験である。説明せよ。

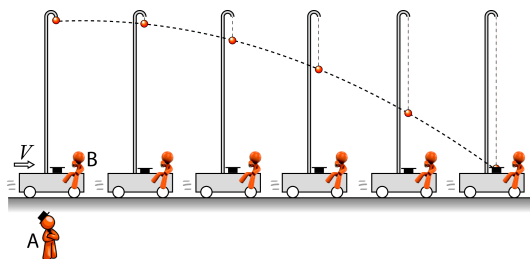


Fig. c

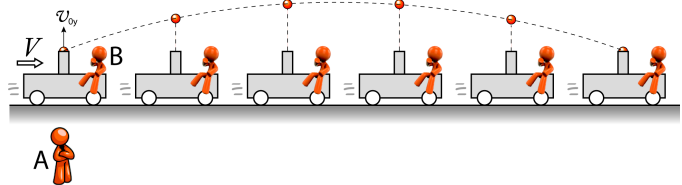


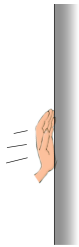
Fig. d

2. The Law of Action and Reaction (Newton's Third Law of Motion)  
作用反作用の法則 (ニュートンの運動第三法則)

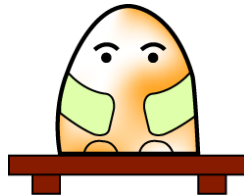
[Q41] Newton's third law of motion: "Nature never produces just one force at a time; *forces always come in pairs simultaneously*. In addition, the forces in a pair, which always act on *different objects*, are *equal in magnitude and opposite in direction*."

Translate the above law into Japanese. 上の法則を日本語に翻訳せよ。

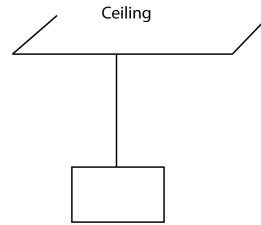
[Q42] Draw force vectors in the following figures and explain about the relations of action and reaction.  
 下の図の中に、力を示すベクトルを描き、作用反作用の関係を説明せよ。



a) Pushing a wall



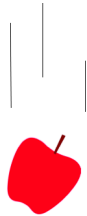
b) Kokeshi on a desk



c) Suspended from a ceiling



d) Sumo



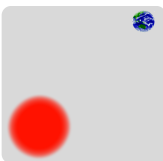
e) A falling apple



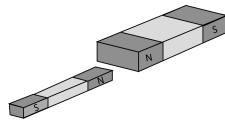
f) Moving car



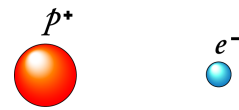
g) Flying airplane



h) The Sun and the earth



i) Strong and weak magnets



j) Proton and electron



k) A lady on a scale

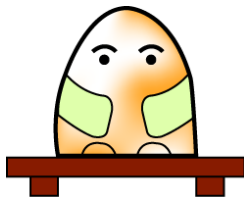


l) Pushing a sofa

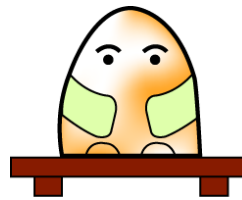


m) A swimming ring

[Q43] In the following two figures, draw force vectors.  
 下の図の中に、力のベクトルを書き入れよ。



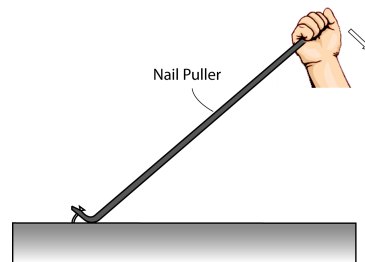
(a) Two forces in equilibrium  
 つり合っている二つの力



(b) Two forces in the relation of action-reaction  
 作用反作用の関係にある二つの力

[Q44] A nail on wood board is pulled with a nail puller. Draw force vectors in the following figures and explain about the relations of action and reaction.

木板のくぎを釘抜きで抜いている。図の中に力のベクトルを描き作用・反作用を説明せよ。



[Q45] Three identical springs are used in the following three ways. Which spring shows the largest elongation and which shows smallest?

3個の同じ性質のばねを使用して次の3通りの仕方で用いた。どのばねが最大の伸びで、どのばねが最小の伸びを示すか？  
 (I175)

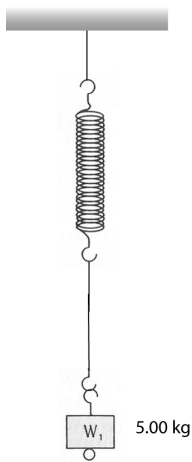


Fig. 38-a

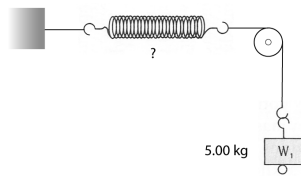


Fig. 38-b

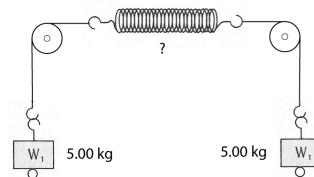


Fig. 38-c

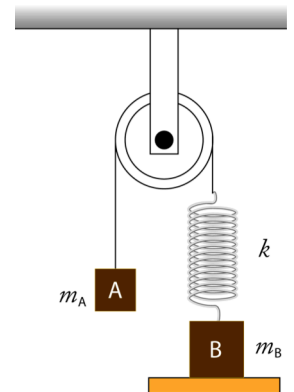


[Q46] Two blocks, A and B, whose mass is  $m_A=0.50$  kg and  $m_B=0.60$  kg, are connected by a light string and a light spring having a spring constant  $k = 70$  N/m. The string passes over a light and frictionless pulley, and then the mass B is placed on a board, as shown in the figure. (1) Find the tensional force pulling the mass A. (2) Find the elongation of the spring. (3) Find the normal force exerted by the board on the mass B.

質量  $m_A=0.50$  kg の物体 A と質量  $m_B=0.60$  kg の物体 B とを、軽い糸とばね定数 70 N/m の軽いばねを使ってつなぎ、なめらかに回る軽い定滑車を通して、図のように物体 B を板上に静止させる。(1) 糸 A を弾く力はいくらか。

(2) ばねの伸びはいくらか。

(3) B が板から受ける垂直抗力の大きさはいくらか。



3. The Law of Motion 運動の法則  
Newton's Second Law ニュートンの第2法則

The Equation of Motion 運動方程式

$$\Sigma \vec{F} = m \vec{a}$$

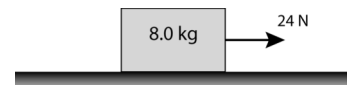
(1)

If an object of mass  $m$  is acted on by a net force  $\Sigma \vec{F}$ , it will experience an acceleration  $\vec{a}$  that is equal to the net force divided by the mass. Because the net force is a vector, the acceleration is also a vector. In fact, the direction of an object's acceleration is the same as the direction of the net force acting on it.

[Q31] An 8.0 kg material on a frictionless surface is exerted by a force of 24 N.

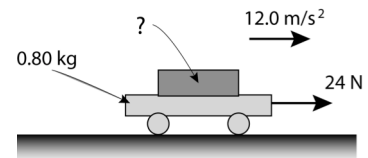
What is the magnitude of acceleration rate?

なめらかな水平面上に置いた質量 8.0 kg の物体が 24 N の大きさの力を受けた。このときに生じる加速度の大きさはいくらか。



[Q32] A force of 24 N is acted on a 0.80 kg dynamic cart on a frictionless level surface, where a weight is placed on the cart. If an acceleration of 12.0 m/s<sup>2</sup> is produced, what is the mass of the weight?

なめらかな水平面上にある質量 0.80 kg の台車におもりを乗せ、24 N の大きさの力を水平に加えたら、台車は加えた力の向きに 12.0 m/s<sup>2</sup> の加速度で動き出した。台車に乗せたおもりの質量はいくらか。



[Q33] Forces are continuously acted on a 6.0 kg body on a frictionless surface, as shown. Find the direction and magnitude of acceleration rate.

なめらかな水平面上に置いた質量 6.0 kg の物体に図のような力を加え続けた。物体に生じる加速度の大きさと向きを求めよ。



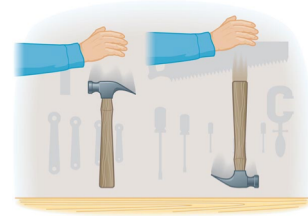
[Q34] According to the law of action-reaction, the force a sumo wrestler exerts on a kid is just the same in magnitude as the force the kid exerts on the sumo wrestler. Why does the sumo wrestler win?

作用反作用の法則によれば、相撲取りが子供を押す力と子供が相撲取りを押す力は大きさが等しい。相撲取りが子供に勝つのはなぜか。



[Q35] The metal head of hammer is loose. To tighten it, you drop the hammer down on to a table. Which way in the figure is more effective or do you get the same result either way?

金槌の頭がゆるくなったので君は金槌を机の上に落として直そうとしている。図の2つの方法のどちらがより効果的か。あるいはどちらも同じか。



#### 4. Weight 重量 (P163)

[Q36] Explain why a person of mass  $m$  has a weight equal to  $mg$ .

質量の人間の重量  $m$  が  $mg$  である理由を説明せよ。

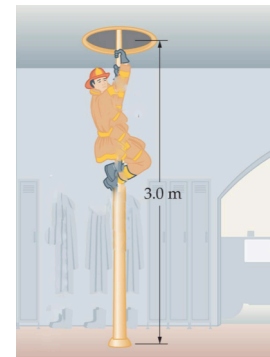


[Q37] (a) The fire alarm goes off, and 97 kg firefighter slides down a pole with a constant acceleration of  $a = 4.2/s^2$ . What is the upward force exerted by the pole on the firefighter?

(b) What is the firefighter's acceleration if the force exerted on him by the pole is 650 N?

(a) 非常ベルが鳴り、97 kg の消防士がポールを伝って  $a = 4.2/s^2$  の等加速度で滑り降りる。ポールが消防士に対し上向きにはたらく力はいくらか。

(b) ポールが消防士に対し上向きにはたらく力が 650 N の時消防士の加速度はいくらか。(P164)



## 5. Motion of an Object under Forces in Equilibrium 力がつりあっているときの物体の運動

Forces in Equilibrium つりあいの力と加速度

$$\Sigma \vec{F} = 0 \rightarrow \vec{a} = 0 \quad (2)$$

[Q16] A 2.5 kg dynamic cart is moving on a frictionless horizontal surface at a constant velocity of 1.0 m/s.

- Draw all the forces acting on this cart.
- Show the equation of motion in terms of vector components.
- Find the acceleration rates, velocities and displacements of the cart in terms vector components as functions of time.

なめらかな水平面上を質量 2.5 kg の台車が 1.0 m/s の等速度で動いている。

- 台車にはたらく力をすべて描け。
- 運動方程式をベクトル成分ごとに示せ。
- 台車の加速度、速度および変位の時間変化の式をベクトル成分ごとに求めよ。

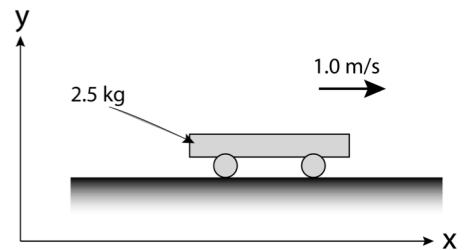


Fig. 16

## 6. Free Falling Motion 自由落下運動

[Q18] Newton is watching an apple of a mass  $m$  falling.

- Draw all the forces acting on the apple.
- Show the equation of motion in terms of vector components.
- Find the acceleration rates, velocities and displacements of the apple in terms vector components as functions of time.

ニュートンがリンゴの落ちるのを見ている。

- リンゴにはたらく力をすべて描け。
- 運動方程式をベクトル成分ごとに示せ。
- リンゴの加速度、速度および変位の時間変化の式をベクトル成分ごとに求めよ。



Fig. 18

7. Projectile Motion – Zero Launch Angle 放物運動-1 水平投射

Projectile Motion 放物運動 (水平投射)

$$v_x = v_{0x}, \quad x = v_{0x}t \quad (5)$$

$$v_y = gt, \quad y = \frac{1}{2}gt^2 \quad (6) \quad \text{y 軸の下向きが正}$$

[Q21] A bullet is fired horizontally from a height of  $h$  [m] at a speed of  $v_0$  [m/s].

- Draw all the forces acting on the bullet.
- Show the equation of motion in terms of vector components.
- Find the acceleration rates, velocities and displacements of the bullet in terms vector components as functions of time.
- How far does it travel before it hit the ground assuming  $h=33.8$  m and  $v_0=400$  m/s ( $4.00 \times 10^2$  m/s).

地上  $h$  [m] の高さから、弾を水平方向に初速度  $v_0$  [m/s] で打ち出した。

- 弾にはたらく力をすべて描け。
- 運動方程式をベクトル成分ごとに示せ。
- 弾の加速度、速度および変位の時間変化の式をベクトル成分ごとに求めよ。
- $h=33.8$  m and  $v_0=400$  m/s ( $4.00 \times 10^2$  m/s) として、小球が地面に当たるまでの水平距離を求めよ。

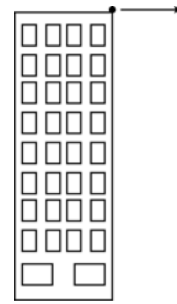


Fig.21

8. Projectile Motion – General Launch Angle 放物運動-2 斜方投射

Projectile Motion 放物運動 (斜方投射)

$$v_x = v_{0x}, \quad x = v_{0x}t \quad (5)$$

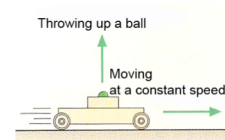
$$v_y = v_{0y} - gt, \quad y = v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2 \quad (6) \quad y \text{ 軸の上向きが正}$$

[Q23] A golfer tees off on level ground, giving the ball an initial speed of  $v_0$  [m/s] and an initial direction of  $\theta$  [ $^\circ$ ] above the horizontal.

- Draw all the forces acting on the ball.
- Show the equation of motion in terms of vector components.
- Find the acceleration rates, velocities and displacements of the ball in terms vector components as functions of time.
- How far does it travel before it hit the ground assuming  $v_0 = 52.7$  m/s and  $\theta = 42.5$ .  
 ゴルファーが、平坦なコースでティーショットを打った。初速度が  $v_0$  [m/s] で角度が水平に対し  $\theta$  [ $^\circ$ ] である。
  - 弾にはたらく力をすべて描け。
  - 運動方程式をベクトル成分ごとに示せ。
  - 弾の加速度、速度および変位の時間変化の式をベクトル成分ごとに求めよ。
  - $v_0 = 52.7$  m/s and  $\theta = 42.5$  として、ボールの飛距離を求めよ。



[Q24] When a dynamic cart is moving on level ground at a constant speed, a ball is thrown up from the cart. What motion do you observe about the ball?  
 水平な台の上で力学台車が等速直線運動をしているとき、台車上で真上に球を打ち出すと球はどのような運動をするか。



## 9. Forces in Two Dimensions 2次元の力

[Q25] Two astronauts are using jet packs to push 940 kg satellite toward the space shuttle, as shown in Fig. a. Astronaut A pushes with a force of magnitude 26 N and astronaut B pushes with a force of magnitude 41 N. Fig. a は、二人の宇宙飛行士がロケットベルトを使って 940 kg の宇宙船をスペースシャトルの方に押しているところである。宇宙飛行士 A は 26 N の力で押し、宇宙飛行士 B は 41 N の力で押す。

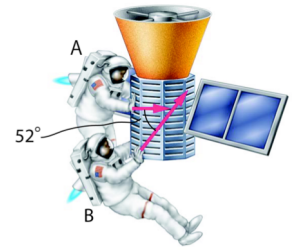


Fig. a

[Q25-1] Draw a “free-body diagram” in Fig. b using a point mass and arrows representing forces acting on it.

Fig. b に、質点とそれにはたらく力を示す矢印で「フリーボディダイアグラム」を描け。



Fig. b

[Q25-2] Choose a convenient coordinate system and then apply Newton’s second law to each coordinate direction, and then find the direction and magnitude of the acceleration generated on the point mass.

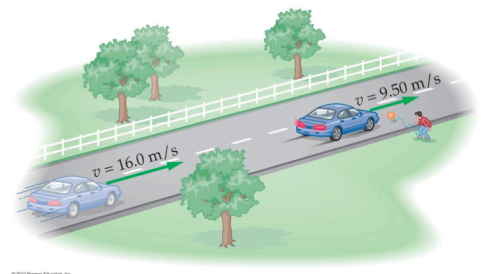
都合の良い座標系を選び、それぞれの座標軸についてニュートンの第2法則を適用し、それを用いて質点に生じる加速度の向きと大きさを求めよ。

[Q25-3] Find the direction and magnitude of the acceleration using another method, from the net force.

別法として、合力から加速度の向きと大きさを求めよ。

[Q27] During home from school one day, you spot a ball rolling out into the street as shown in the figure. You brake for 1.20 s, slowing your 950 kg car from 16.0 m/s to 9.50 m/s. (a) What was the average force exerted on your car during braking? (b) How far did you travel while braking?

学校から自動車で帰宅途中のある日のこと、図のようにボールが道路の中に転がり入るのを見つけた。君はブレーキを掛けて 950 kg の自動車を 9.50 m/s 間で 16.0 m/s から 9.50 m/s まで減速した。(a) ブレーキを掛けている間に車にはたらいた平均の力はいくらか。(b) ブレーキを掛けている間に進んだ距離はいくらか。



10. Static Friction 静止摩擦

Static friction	静止摩擦力	$0 \leq f \leq F_0$	
Maximum Limit of Static Friction	最大静止摩擦力	$F_0 = \mu N$	(7)
Friction Angle, $\theta_0$	摩擦角	$\mu = \tan \theta_0$	(8)

[Q31] In Fig. 31, an object is pulled by the spring scale at a force of  $\vec{f}$  but does not move. Explain why.

図で、物体がばねばかりで水平方向に $\vec{f}$ の力で引かれているが動かない。これはなぜか説明せよ。

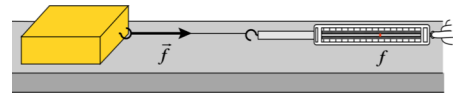


Fig. 31

[Q32] It takes a force of 35 N to start a 5.0 kg wooden block. Find the coefficient of static friction.

質量 5.0 kg の木製の物体を引いて動き出すときの力が 35 N であった。静止摩擦係数を求めよ。

[Q33] An object of a mass 1.0 kg is placed on a flat and level desk.

What is the minimum horizontal force to move the object assuming the coefficient of static friction between the desk and the object is 0.5.

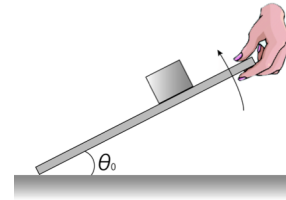
水平な机の上に質量 1.0 kg の物体が置いてある。水平方向に力を加えて物体を動かすときに、必要な力の最小値はいくらか。机と物体の静止摩擦係数を 0.50 とする。



[Q34] An object of a mass  $m$  is placed on a flat board. The board is tilted upward. For small angles of tilt the object stays put, but when the tilt angle exceeds  $\theta_0$ , the object begins to slide. Find the coefficient of static friction between the board and the object.

摩擦のある平らな板の上に質量  $m$  の物体が置いてある。板を水平から傾けていくと、角度  $\theta_0$  のときすべりだした。板と物体の静止摩擦係数  $\mu$  を求めよ。

(I201)



[Q34-1] A 97 kg sprinter wishes to accelerate from rest to a speed of 13 m/s in a distance of 22 m. What coefficient of static friction is required between the sprinter's shoes and the track?

[

[Q34-2] A 48 kg crate is placed on an inclined ramp. When the angle the ramp makes with the horizontal is increased to  $26^\circ$ , the crate begins to slide downward. (a) What is the coefficient of static friction between the crate and the ramp? (b) At what angle does the crate begin to slide if its mass is doubled?

## 11. Kinetic Friction 動摩擦

Force of Kinetic Friction 動摩擦

$$F' = \mu' N$$

(9)

[Q35] Table 35 indicates typical coefficients of static and kinetic friction. In our lives, when is it desirable to reduce friction and when do we want as much friction as possible?

表は、静止摩擦係数、動摩擦係数の例を示している。私たちの生活では摩擦を減らしたいものがあり、また極力摩擦を増やしたい物もあるが、それぞれどういうときか。

(I202) (W149)



Table 35 Typical Coefficients of Friction

Materials		Static $\mu$	Kinetic $\mu'$
Rubber	Concrete(dry)	1 – 4	0.80
Steel	Steel	0.74	0.57
Glass	Glass	0.94	0.40
Wood	Leather	0.50	0.40
Copper	Steel	0.53	0.36
Rubber	Concrete(wet)	0.30	0.25
Steel	Ice	0.10	0.06
Waxed ski	Snow	0.10	0.05
Teflon	Teflon	0.04	0.04
Synovial joint in humans		0.01	0.003

[Q36] A car drives with its tires rolling freely. Is the friction between the tires and the road kinetic or static?

自動車はタイヤを自由に回して走る。タイヤと道路の間の摩擦は静止摩擦か動摩擦か。



[Q37] When you push a 1.80 kg book resting on a tabletop, it takes 2.25 N to start the book sliding. Once it is sliding, however, it takes only 1.50 N to keep the book moving with constant speed. What are the coefficient of static and kinetic friction between the book and the tabletop?

机の上に置いてある 1.80 kg の本を押したとき、押す力が 2.25 N のときに滑り出す。滑り出した後はその本を等速で動かす力は 1.50 N となる。本と机の間の静止摩擦係数と動摩擦係数を求めよ。

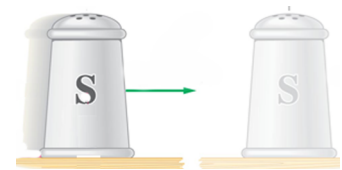




[Q38] A baseball player slides into third base with an initial speed of 4.0 m/s. If the coefficient of kinetic friction between the player and the ground is 0.46, how far does the player slide before coming rest?

[Q39] Someone at the other end of the table asks you to pass the salt. Feeling quite dashing, you slide the 50.0-g salt shaker in their direction, giving it an initial speed of 1.15 m/s.

- (a) If the shaker comes to rest with constant acceleration in 0.840 m, what is the coefficient of kinetic friction between the shaker and the table?
- (b) How much time is required for the shaker to come to rest if you slide it with an initial speed of 1.32 m/s?



食卓の向こうから塩を回して欲しいと頼まれた君は、相手が急いでいると思ったので 50.0-g の塩の瓶を初速度 1.15 m/s ですべらせた。

- (a) もし瓶が、一定の加速度で 0.840 m の距離をすべって停止したら動摩擦係数はいくらか。
- (b) 初速度が 1.32 m/s である場合、止まるまでにすべる時間はいくらか。

12. Advanced Problems using the Equation of Motion 運動方程式を使いこなす

## \* Sea lion problems アシカ問題

[Q40] A trained sea lion slides from rest with constant acceleration down a 3.0-m-long ramp into a pool of water. The ramp is inclined at an angle of  $23^\circ$  above the horizontal and the coefficient of kinetic friction between the sea lion and the ramp is 0.26.

- Draw a free-body diagram.
- Find the acceleration rate of the sea lion.
- How long does it take for the sea lion to make a splash in the pool?
- Find the velocity of the sea lion when it reaches the water.

訓練されたアシカが、静止状態から 3.0 m の長さの滑り台を一定の加速度でプールまで滑り降りる。滑り台は水平に対して  $23^\circ$  の角度で、アシカと滑り台のあいだの動摩擦係数は 0.26 である。

- フリーボディダイアグラムを描け。
- アシカの加速度を求めよ。
- アシカが水面に達するまでの時間はいくらか。
- アシカが水面に達したときの速さはいくらか。(W151)

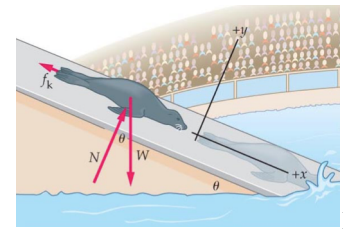


Fig. 40

\*[Q41] When an object is placed on an inclined surface at an angle of  $\theta$ , it slides down from rest at a constant acceleration rate  $a$ . Assume that the coefficient of kinetic friction between the object and the inclined surface is  $\mu'$  and the gravitational acceleration rate is  $g$ .

- Draw a free-body diagram.
- Find the acceleration rate  $a$ .
- Find the time the object slides in the distance  $L$ .
- Find the velocity  $v$  when the object slides in a distance  $L$ .

図のように、水平面と角  $\theta$  をなす斜面上に物体を静かに置いたところ、一定の加速度で斜面下向きにすべり降りた。斜面と物体との間の動摩擦係数を  $\mu'$ 、重力加速度を  $g$  とする。

- フリーボディダイアグラムを描け。
- 加速度  $a$  を求めよ。
- 斜面上を  $L$  だけすべり降りる時間  $t$  を求めよ。
- 斜面上を  $L$  だけすべり降りたときの速さ  $v$  を求めよ。(I205)

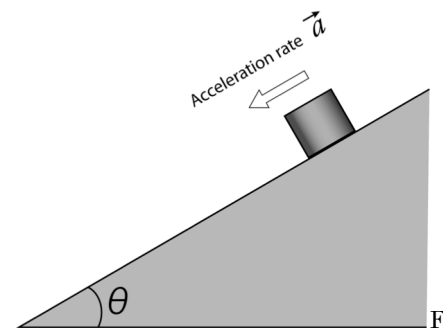


Fig. 41

\* Elevator problems – Apparent Weight エレベーター問題 – 見かけの体重

[Q42] Find the magnitude of the tensional force of the string in the figure in the following conditions:

- a) At rest.
- b) Moving downward at a constant speed of 1.5 m/s.
- c) Moving upward at a constant acceleration rate of 1.2 m/s<sup>2</sup>.
- d) Moving downward at a constant acceleration rate of 1.2 m/s<sup>2</sup>.

図で、次の条件におけるひもの張力の大きさを求めよ。

- a) 静止している。
- b) 1.5 m/s の等速度で下降している。
- c) 上向き 1.2 m/s<sup>2</sup> の加速度で上昇している。
- d) 下向き 1.2 m/s<sup>2</sup> の加速度で下降している。

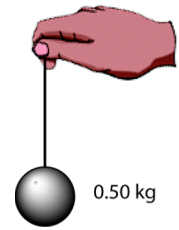


Fig. 42

[Q43] A 71-kg woman is standing on a scale in an elevator. What is the apparent weight by kg as indicated by the scale in the following conditions?

- e) The elevator is at rest.
- f) Moving downward at a constant speed of 1.5 m/s.
- g) Moving upward at a constant acceleration rate of 3.0 m/s<sup>2</sup>.
- h) Moving downward at a constant acceleration rate of 3.0 m/s<sup>2</sup>.

体重 71 kg の女性が、エレベーターの中に置いた体重計の上に乗っている。エレベーターが次の状態のとき、体重計は何 kg を示すか。

- a) 静止している。
- b) 1.5 m/s の等速度で下降している。
- c) 上向き 3.0 m/s<sup>2</sup> の加速度で上昇している。
- d) 下向き 3.0 m/s<sup>2</sup> の加速度で下降している。



Fig. 43

\* Contact forces 押し合い問題

[Q44] A box of mass 2.30 kg rest on a smooth, horizontal floor next to a box of mass 4.20 kg. You push on the 2.30 kg box with a horizontal force of magnitude 8.50 N.

- a) What is the acceleration of the boxes?
- b) What is the force of contact between the boxes?

図のように、2個の箱がなめらかな水平の床にある。2.30 kg の箱に 8.50 N の力を加えた。

- a) 箱に生じる加速度はいくらか。
- b) 2個の箱の間にはたらく力はいくらか。(I206)(W124)

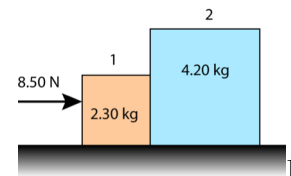


Fig. 44

[Q45] In the above, you push on the 4.20 kg box with a horizontal force of magnitude 8.50 N.

- a) What is the acceleration of the boxes?
- b) What is the force of contact between the boxes?

上の問題で、4.20 kg の箱に 8.50 N の力を加えた。

- a) 箱に生じる加速度はいくらか。
- b) 2個の箱の間にはたらく力はいくらか。(I206)(W124)

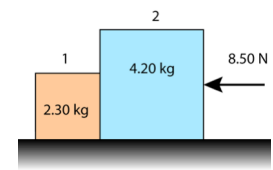


Fig. 45

\*[Q46] A force of magnitude 8.50 N pushes three boxes with masses  $m_1 = 2.30$  kg,  $m_2 = 4.20$  kg and  $m_3 = 5.90$  kg as shown.

- Find the magnitude of the contact force between boxes 1 and 2.
- Find the magnitude of the contact force between boxes 2 and 3.

図にあるような3個の箱に8.50 Nの力を加えた。箱の質量は、 $m_1 = 2.30$  kg、 $m_2 = 4.20$  kg、 $m_3 = 5.90$  kgである。

- 箱1と箱2の間にはたらく力（コンタクトフォース）を求めよ。
- 箱2と箱3の間にはたらく力（コンタクトフォース）を求めよ。(W141)

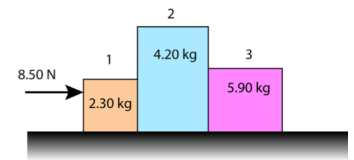


Fig. 46

[Q47] A tugboat is pulling three cargoes of the same mass connected with rope and moving at constant acceleration. The tensional force of the first rope is  $1.0 \times 10^3$  N. Find the tensional forces of the other ropes assuming the resistances acting on the three cargoes are the same.

図のように、ロープにつながれた3つの同じ質量の荷物をタグボートが引っ張り、全体が等加速度運動をしている。初めのロープをボートが引く力が  $1.0 \times 10^3$  N のとき、その他のロープの引く力の大きさはいくらか。荷物にはたらく抵抗はすべて同じものとする。(I207)

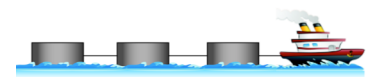


Fig. 47

\* Atwood machine アトウツドの器械

[Q48] Atwood's machine consists of two masses connected by a string that passes over a pulley, as shown by the figure.

- Find the acceleration of the masses for general  $m_1$  and  $m_2$ , and the tensional force of the string.
- Evaluate for the specific case  $m_1 = 3.1$  kg,  $m_2 = 4.4$  kg.

アトウツドの器械とは、図に示したように滑らかな軽い滑車に軽く伸びない糸をかけ、その両端に質量  $m_1$  と  $m_2$  の物体をとりつけたものである。

- 加速度の大きさと糸の張力を求めよ。
- $m_1 = 3.1$  kg,  $m_2 = 4.4$  kg. のときの加速度の大きさと糸の張力を求めよ。(I207) (W168)

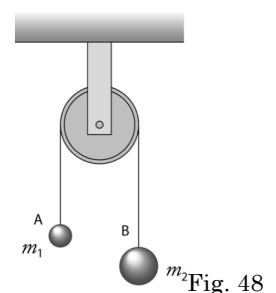


Fig. 48

[Q49] A block of mass  $M$  is on a tabletop. It is connected to a string that passes over a pulley and suspends a mass  $m$ . The coefficient of kinetic friction between the desk and the block is  $\mu'$ .

- Find the acceleration of the blocks.
- Find the tension in the string.

机の上に質量  $M$  の物体があり、これと質量  $m$  の物体を軽い糸でつなぎ、台の端の軽い滑車にかける。机と机の上の物体の間の動摩擦係数は  $\mu'$  である。

- 物体の加速度を求めよ。
- 糸の張力を求めよ。(I208) (W167)

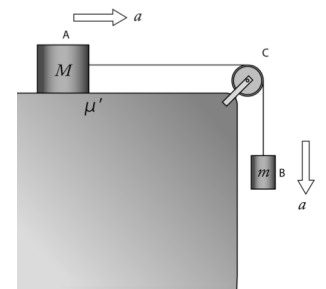
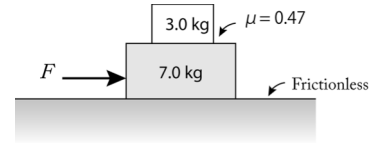


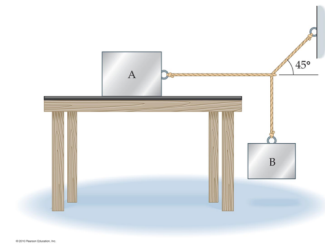
Fig. 49

[Q50] Two blocks, stacked one on top of the other, can move without friction on the horizontal surface shown in the figure. The surface between the two blocks is rough, however, with a coefficient of static friction equal to 0.47. If a horizontal force  $F$  is applied to the 7.0 kg bottom block, what is the maximum value  $F$  can have before the 3.0 kg top block begins to slip?



図のように、7.0 kg のブロックの上に 3.0 kg のブロックが乗っている。7.0 kg のブロックと床の間には摩擦がない。一方、2 個のブロックの間には摩擦があり、その静摩擦係数は  $\mu = 0.47$  である。下の 7.0 kg のブロックに力  $F$  を加えた時、上の 3.0 kg のブロックが滑り出さないような  $F$  の最大値を求めよ。[P1-185]

[Q51] The blocks shown in the figure are at rest. (a) Find the frictional force exerted on block A given that the mass of block A is 8.82 kg, the mass of block B is 2.33 kg, and that the coefficient of static friction between block A and the surface on which it rests is 0.320. (b) What is the maximum mass block B can have and the system till be in equilibrium?



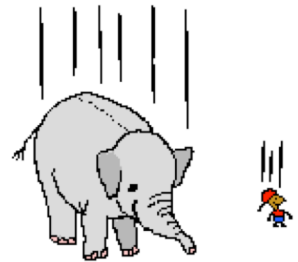
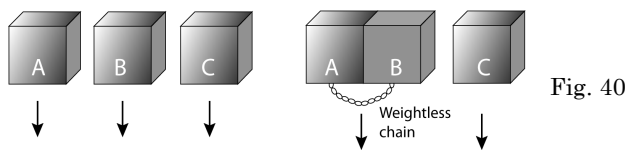
13. Free Falling Motion in Viscous Medium 空気の抵抗のあるときの自由落下運動

**Falling in a Viscous Medium (Resistance in case of a spherical body  $f = -kv$ )**

終端速度 Terminal Velocity  $v_{terminal} = \frac{mg}{k}$  (5)

[Q60] Which falls faster, an elephant or a man if the resistance by air can be ignored? Fig. 40 is Galileo's thought experiment. Explain.

空気抵抗が無視できるとき象と人とどちらが落ちるのが速いか。Fig. 40 はガリレオの思考実験である。説明せよ。



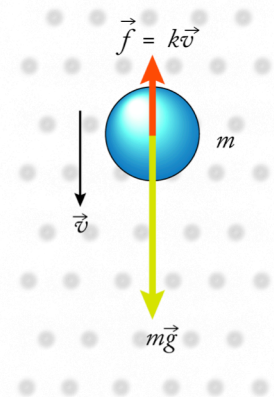
[Q61] Which falls faster, an elephant or a man if the resistance by air cannot be ignored? What factors affect the result? Draw a graph how the velocity changes with time.

空気抵抗が無視できないとき象と人とどちらが落ちるのが速いか。どのような因子が結果に影響するか。速度の時間変化がどのようになるかグラフを描け。



[Q42] Terminal Velocity 終端速度

Falling Object (radius)	Mass kg	Area m <sup>2</sup>	Terminal Velocity	
			m/s	km/h
Skydiver	75	0.7	60	214
Baseball (3.66 cm)	145 x 10 <sup>-3</sup>	42 x 10 <sup>-4</sup>	33	118
Golf ball (2.1 cm)	46 x 10 <sup>-3</sup>	14 x 10 <sup>-4</sup>	32	115
Hail stone (0.5 cm)	48 x 10 <sup>-3</sup>	0.79 x 10 <sup>-4</sup>	14	50
Raindrop (0.2 cm)	34 x 10 <sup>-6</sup>	0.13 x 10 <sup>-4</sup>	9	32



[Q63] 質量  $4.5 \times 10^{-8}$  kg の雨滴が、0.80 m/s の一定の速度で落下している。雨滴にはたらく空気の抵抗力の大きさが速さ  $v$  に比例し、 $kv$  ( $k$  は比例定数) で表されるものとして、一定の速度で落下している時の空気の抵抗力の大きさを求めよ。また、このことから、 $k$  の値を求めよ。(啓 21)